耐高溫菌在環保和農業之利用

楊盛行

國立臺灣大學微生物與生化學研究所

摘　要

由果菜市場蔬果廢棄物和農產廢棄物稻草、稻殼和玉米穗軸堆肥中分離耐高溫菌，選擇生長較快和酵素活性較高之放線菌分離株及高溫酯解菌，接種耐高溫纖維素分解菌及高溫酯解菌處理農產廢棄物和製作生物肥料，比較其對作物生長及土壤性質之影響。耐高溫放線菌分離株 56 號纖維素分解酵素之作用機制，先由外切型纖維素分解酵素(Avicelase)將結晶型的區域，由非還原端將纖維雙醣切下後，再由內切型纖維素分解酵素(CMCase)從非結晶型區域內部任意打斷 β-1,4-葡萄糖苷鍵結(β-1,4-glucosidic bond)，最後由分解纖維雙醣的 β-葡萄糖苷酵素(β-glucosidase)切斷雙醣間的鍵結。放線菌分離株 56 號其 Avicelase 的活性是 CMCase 的 6 倍。在製作生物肥料時，分別接種放線菌分離株 40 號和 56 號及兩種分離株混合於稻草豬糞生物肥料中，放線菌分離株 56 號提高生物肥料水份含量和灰份含量優於放線菌分離株 40 號、混合接種菌株及不接菌的控制組；而接種分離株 40 號及混合菌株提高生物肥料總氮含量和固定態氮含量則優於其他兩組，接種分離株 40 號其 C/N 比下降最多。當於含有油脂之廚餘接種高溫酯解菌時，堆積 21 天時廚餘處理機 A(接種)及 B(未接種)苜宿種子發芽率分別為 95% 及 87%，顯示生物肥料中對於抑制種子發芽物質已被微生物代謝成穩定無害狀態，生物肥料進入腐熟狀態，堆積 28 天時除水分含量外，廚餘處理機 A 及 B 之 pH、總有機碳、總氮、及 C/N 比等皆符合垃圾堆肥品質標準，其中接種分離株 *Brevibacillus borstelensis* SH168 之廚餘處理機 A，堆肥化過程溫度明顯較高且有機碳含量及粗脂肪含量分解率較未接菌廚餘處理機 B 為高，接種分離株 *Bv. borstelensis* SH168 於廚餘處理機可使廚餘處理機中發酵溫度升高，促進有機物質分解。廚餘原料中粗脂肪含量嚴重影響堆肥化進行，接種高溫酯解菌，可加速有機物質分解與提高品質。由上可知，生物肥料製作過程中，接種適當之高溫菌對生物肥料之腐熟有正面成效，具應用上潛力。

關鍵字: 耐高溫微生物、酯解菌、生物肥料製作、纖維素分解酵素、腐熟、總氮含量、固定態氮含量、C/N 比。

Application of Thermo-tolerant Microbes in Environment and Agriculture

Shang-Shyng Yang

Department of Biochemical Science and Technology
Institute of Microbiology and Biochemistry
National Taiwan University, Taipei 10617, Taiwan

Abstract

Thermo-tolerant microbes were isolated from the biofertilizer and compost of the mixture of vegetable-market waste, rice straw and rice hull at 50^{o}C for the measurements of growth rate and cellulolytic activity. Among them 2 isolates of thermo-tolerant actinomycetes were chosen. In submerged culture, isolate No. 56 had high Avicelase activity at 2nd day, CMCase and filter paper activities at 4th day, and β-glucosidase activity at 5th day. Cellulosic materials were degraded first by Avicelase from the non-reducing end, then by CMCase from the non-crystal region and by β-glucosidase at cellulobiose. Avicelase activity was 6-fold of CMCase. During 31 days biofertilizer preparation of the mixture of rice straw and hog waste (4:1 w/w), biofertilizer inoculating with isolate No. 56 had high final moisture content and ash content. Biofertilizer inoculating with the mixed cultures (isolates No. 40 and No. 56) and isolate No. 40 had high total nitrogen content and immobilized nitrogen content, while biofertilizer inoculating with isolate No. 40 had low C/N ratio. In the biofertilizer preparation from food wastes with high oil content, inoculation of thermophilic lipolytic *Brevibacillus borstelensis* had higher temperature, organic carbon and crude fat degradation rates than the control without inoculation. Therefore appropriate inoculation of thermo-tolerant or thermophilic microbes in biofertilizer preparation can reduce the period of maturation and improve the quality of compost.

Keywords: Thermophilic or thermo-tolerant microbes, lipolytic microbes, biofertilizer preparation, cellulase, maturity, total nitrogen, immobilized nitrogen, C/N ratio.

前　言

臺灣一年產出之豬糞、牛糞和羊糞約有 1,150 萬公噸，雞糞尿、鴨糞尿、鵝糞尿和火雞糞尿約有 700 萬公噸，蔗渣 40 萬公噸，稻殼 30 萬公噸，太空包菇類廢培養基有 5 萬公噸，如再加上畜牧廢水生物處理後所生產之大量生物污泥，這些有機農業廢棄物之總量已超過 2,000 萬公噸 (楊等，2003) 。這些數量龐大之有機廢棄物如果不加以適當處理，將嚴重影響環境衛生，因而如何利用這些有機廢棄物為當務之急。

台灣地區廚餘佔垃圾總量之 17.94-25.73% ，視收集地點和對象而定，這些大量的廚餘垃圾，除了部分地區回收養豬及堆肥製作，例如台北市政府的廚餘回收計畫，大部份以掩埋和焚化處理為主，但是掩埋時易生惡臭，成為病媒滋生的溫床，並且台灣地狹人稠，掩埋場土地取得不易，民眾抗爭不斷，而焚化時其處理費用偏高，且廚餘含水量很高，若將其送入焚化爐中燃燒會降低垃圾總發熱量、縮短焚化爐的使用壽命和浪費能源，此兩種方式皆非處理廚餘的上策 (Yang 和 Tsai，2002) 。

廚餘的成分相較於農業廢棄物有種類較複雜、性質變化大、產量不穩定和產源分散必須採取公共點收集等特性，且因為各國風土民情和飲食習慣不同也造成各地廚餘成分的差異 (洪，2000；Lim 等，2000；Yun 等，2000) 。一般家庭廚餘較複雜，常含剩飯、蔬果殘渣、魚肉殘體及湯汁等；學校或餐廳則較單純，其組成不外乎醣類、脂質、蛋白質、纖維素、半纖維素、木質素等，前三者屬易分解物質，後三者雖可分解，但所需時間較長。餿水乾物質重僅 18.6%，粗蛋白質 2.95% (表一) 。臺灣廚餘含碳 43.12% 和含氮 2.03%，而韓國廚餘含碳 46.1-48.9% 和含氮 2.45-4.32%。如以類別分，韓國廚餘含穀類 16%、蔬果類 65% 和漁肉類 19% (表二) (Lim 等，2000；Yun 等，2000)。學校餐廳廚餘可分為未食用完剩菜及前處理之蔬果廢棄物，水分含量高介於 80.23-93.97%，pH 5.78-6.23 為酸性，灰份含量 9.53-10.34%，總有機碳含量 37.39-57.06，總氮含量 1.54-3.25% (表三) 。成功國宅家庭廚餘水分含量 72.12-86.17%，pH 5.31-5.74 為酸性，灰份含量 8.42-10.32%，總有機碳含量 49.87-56.35，總氮含量 2.15-2.63% (表四) 。

表一、臺灣餿水組成分

Table 1. The composition of the swill in Taiwan

成分	含量 (%)
水分	81.45 ± 9.87
乾物質重	18.55 ± 1.29
粗蛋白質	2.95 ± 0.46
醚抽出物	2.02 ± 0.53
粗纖維	0.21 ± 0.05
灰份	1.09 ± 0.12
無氮抽粗物	12.28 ± 3.03

陳義雄和陳文賢(1997)。

廚餘如能善加利用，它並不是垃圾，而是一種資源。廚餘可與其他有機資材混合製作成堆肥，做為有機肥料，或土壤改良劑，施用於土壤，不但可以改良土壤酸化作用，提高土壤有機物含量，促進土壤團粒，提供作物養分和加速有機農業發展 (Yang，1994、1997、2001) 。由於廚餘水份含量高，不含有毒物質，並且含有豐富的植物養分，可回收作堆肥材料(洪，2000；Yang 和 Tsai，2002) 。

廚餘堆肥處理的主要方式依規模可分為三類，使用上皆有其優缺點：第一類為小型處理設備 (20-300 公升) ，如家用廚餘桶及商業型家用廚餘機，操作簡單方便，但可能有臭味問題，且有機肥料亦非每一家庭都有需求，所以推廣不易；第二類為中型處理設備 (40-1000 公斤/天) ，如餐廳、學校或大型社區，使用廚餘高速醱酵機或消滅型廚餘處理機為主，此類處理設備調配方式簡單，反應時間大幅縮短，減少環境污染，以達減廢為主要目的，產生的有機肥可能未完全腐熟或品質不佳，間接影響作物成長；第三類為大型的廚餘堆肥場，為集中化的處理，所產生有機肥性質穩定，增加經濟效益，為最有效的處理方式 (Tsai 等，2002) 。

表二、廚餘組成分

Table 2. The composition of the food waste

成分	石牌國小*	韓國廚餘**	韓國廚餘***
C (%)	43.12	46.1-48.9	
N (%)	2.03	2.5-4.3	
P(%)	0.67		
K(%)	0.56		
H (%)		6.4-7.3	
O (%)		38.5-42.2	
Total solid (%)		19.1-21.1	
Volatile solid (%)		94.8-97.6	
Cereals (%)			16 ± 2
Fruits (%)			14 ± 2
Vegetables (%)			51 ± 2
Meats and fish (%)			19 ± 2
Ash(%)	9.00		
Zn (ppm)	64		
Pb (ppm)	7.8		
Cu (ppm)	9.0		
Ni (ppm)	5.8		
pH	6.23		

*洪(2000)；**Lim 等(2000)；***Yun 等(2000)。

表三、學校宿舍餐廳廚餘成分

Table 3. The composition of food waste in the college dormitory restaurant

Code	pH	Moisture content (%)	Ash(%)	TOC(%)	TN(%)	C/N
A	6.23±0.11	92.95 ± 0.21	10.34±0.25	37.39±2.87	3.25±0.11	11.53±0.21
B	5.78±0.05	93.97 ± 0.13	9.75±0.64	43.76±1.72	1.54±0.05	28.42±0.53
C	5.93±0.08	93.41 ± 0.20	10.25±0.24	37.93±2.23	2.46±0.07	13.83±0.36
D	5.89±0.12	80.23 ± 1.34	9.53±0.57	57.06±4.69	2.78±0.54	21.35±0.81

Mean ± S.D. (n=3). A：Vegetables；B：Fruit；C：Mixture；D：Leftovers。

表四、臺北市成功國民住宅廚餘成分

Table 4. The composition of food waste in the Cheng-kong national apartment

Sample	pH	Moisture content (%)	Ash (%)	TOC（%）	TN（%）	C/N
A	5.31±0.14	86.17 ± 1.51	10.32±0.56	49.87±2.48	2.15±0.05	23.26±0.25
B	5.74±0.12	72.12 ± 0.50	8.42±0.28	56.35±1.94	2.63±0.17	21.46±0.88

Mean ± S.D. (n=3). A：Vegetables；B：Mixture。

一般小型處理設備中參與堆肥化過程的菌主要以中溫菌為主，而中型及大型堆肥設備則以高溫菌為主。由學校餐廳所產出廚餘原料中含有大量油份，粗脂肪含量為每克乾重 17.08%，隨堆積過程水分喪失後會呈現濃縮現象，堆積 70 天後粗脂肪含量每克乾重可達 23.65~24.62% (Tsai 等，2006) ，過量的油份會對分解反應產生抑制，且過量的油脂不斷累積，造成堆肥化過程時間遲緩，在國內外有許多相關研究報告 (Lim 等，2000；Yun 等，2000；Tsai 等，2002) 。此和一般的農業廢棄物堆肥最大不同之處，故欲快速製作品質良好的廚餘堆肥，其先決條件是須有專門針對廚餘垃圾分解力強的關鍵性微生物族群，才可達到廚餘廢棄物資源再利用的目的。

微生物主要有細菌、放線菌、真菌、藻類、原生動物和病毒等。每克土壤含有 10^7-10^8 個細菌菌落、10^5-10^6 個真菌菌落、10^5-10^6 個放線菌菌落、10^2-10^4 個藻類菌落和 10^2-10^4 個原生動物等 (Alexander，1997；Atlas 和 Bartha，1998；楊等，1998) 。這些微生物對於地球上物質之分解和元素之循環佔有極重要地位。以碳循環而言，部份光合菌可以固定空氣中 CO_2 而成菌體，同時微生物也可以氧化及分解有機物而釋放出 CO_2 。具有纖維素分解能力之主要微生物有細菌、放線菌和真菌，當土壤中添加纖維質材質時，會促進其在土壤中之族群，每克土壤所含具纖維素分解活性細菌可達 10^7 個菌落，絲狀真菌 10^6 個菌落 (Alexander，1977) 。

高溫菌在生物肥料製作和作物生長過程中皆扮演相當重要角色，在生物肥料製作過程中微生物相隨著基質溫度和 pH 值而有所改變。製作初期由於基質中含有多量之空氣和易分解之碳水化合物、蛋白質、脂質等，致使基質溫度急劇上升，而微生物所產生之有機酸則使基質 pH 值下降。此時堆肥中最初所含之嗜溫菌漸漸為嗜熱菌所取代 (Yang，1997、2001) 。在高溫期微生物因易分解之有機物含量減少、氧氣供應不足、發酵熱產生漸減、基質溫度逐漸下降，此時嗜溫菌又開始建立族群 (Yang，1997；Chen 等，1998、2000) 。堆肥化過程中微生物族群的消長變化，除了受微生物生理、養分競爭力、基質利用能力、抗菌性物質和培養基質種類等影響外 (Chen 和 Yang，1998、2000) ，亦受到通氣率、水分含量和 pH 值等諸多因素的控制 (Yang，1997、2000；Yang 和 Chen，2000；Yang 等，2000) 。

本研究為改進生物肥料製作，提高生物肥料品質，由堆肥、市售生物肥料和土壤中分離之耐高溫菌中，選取生長較快和纖維素分解活性較高之耐高溫放線菌、耐高溫細菌和耐高溫真菌，接種至稻草與豬糞生物肥料中，探討其在生物肥料製作時之品質和對作物生長之影響。以供未來在生

物肥料製作時之參考。為進一步瞭解生物肥料、化學肥料及堆肥之施用，對蔬菜生長及植株之影響，也於臺大實驗農場進行田間試驗，做為學術研究及生物技術工業之參考。

接種微生物對堆肥和生物肥料品質之影響

以往堆肥製作時，皆以其所含之天然微生物族群進行堆肥化，由於其所含微生物族群差異性大，致使堆肥腐熟時延長，品質差異性大 (表五) 。為提高堆肥和生物肥料分解速率，縮短堆肥和生物肥料製作時間，提高堆肥和生物肥料品質和多元化目標。國內外學者進行了一系列之接種實驗：

印尼為提高大豆種植，早在 1936 年在 Toxopeus 田裡接種少量之 *Rhizobium* 固定空氣中之氮氣，提高大豆產量，其後於 1979 年有 ”Legin” 之正式生產上市，使用 6-10 個 *Rhizobium* strains；100 公斤之 Legin 可供 350 公頃大豆種子使用。至 1986 年印尼有 40%之大豆種植區使用 *Rhizobium* 接種，每 300 克價格在美金 4-5 元，可以儲存 2-3 個月 (Anas，1994) 。其後為適合酸性土壤，高交換性鋁之土壤，耐受農藥使用和適合各種大豆品種。Gunarto (1991)分出 *Bradyrhizobium japonicum* 可以在酸性土壤中生長且可產生多量之 exopolysaccharide，有利其在大豆根上長根瘤。

在印尼松樹苗圃中接種 mycorrhizal，如 A*caulospora, Gigaspora, Glomus* 和 *Scuhellospora*，可以在低 pH 下發揮效果。另外在陸稻接種 V-A mycorrhizal 亦可促進其生長 31.6-62.5% (Anas，1994)。印尼由陸稻、玉米和大豆根圈中分出溶磷菌，其中真菌 *Aspergillus niger* 可以產生草酸、檸檬酸和其他有機酸類，而細菌類中之 *Pseudomonas diminuta* 和 *Ps. stutzeri* 可以產生 glicolatic acid，降低土壤 pH 且與 Al^{3+}，Fe^{3+}和 Ca^{2+}形成複合物，增加磷之有效性。*Ps. putida*-10 亦可溶解磷礦石，接種溶磷菌可以促進大豆生長和提高甘蔗乾重。將溶磷菌 *Ps. putida* 與堆肥混合使用，在 28^{o}C 下可以存放 16 週仍保存其活性 (Anas，1994) 。

日本比嘉照夫更是將有益微生物 (effective microorganisms, EM) 接入土壤中，進行蔬菜、稻米、果樹、花卉、茶葉和牧草之栽培以及接入堆肥、污泥進行有機物分解。認為土壤中之微生物相可以大致分為四大類：腐敗型土壤微生物、淨菌型土壤微生物、發酵型土壤微生物和合成型土壤微生物。其中腐敗型土壤微生物仍是將生廄肥等有機物分解，如土壤中此類菌佔優勢則易生惡臭及感染病蟲害，目前農田土壤約有九成屬於此類。至於淨菌型土壤微生物，其中可以產生抗菌物質微生物所佔比例較高，病蟲害發生少。發酵型土壤微生物以乳酸菌、酵母菌等為主，由於有機酸、醣類、

維生素等含量多，作物生長不良。合成型土壤微生物，含有光合成菌，可以利用太陽光，藻類可以固定氮氣，如此類微生物佔優勢時，加入有機肥料，則土壤肥力大增，如能配合發酵型土壤微生物，則作物生長良好，土壤生產力高 (比嘉照夫，1994) 。

表五、由堆肥中分離出之微生物分離株

Table 5. Microbial isolations from composts

微生物	分　離　株
細菌	*Acinetobacter calcoaceticus, Acromobacter* sp., *Aeromonas hydrophilia*, *Bacillus* sp., *B. cereus, B. megatherium, B. mycoides, B. stearothermophilus, Bordentella bronchiseptica, Cellumonas folia, Chondrococcus exiguous, Citrobacter* sp., *Clostridium perfringens, Enterobacter* sp., *Escherichia coli, Flavobacterium* sp., *Klebsiella* sp., *Micrococcus* sp., *Mycobacterium* sp., *Mycococcus virescens, M. fulvus, Proteus* sp., *P. morganii, Pseudomonas* sp., *Salmonella* sp., *Sarcina* sp., *Serratia* sp., *Shigella* sp., *Staphylococcus* sp., *Streptococcus* sp., *Thiobacillus thiooxidans, T. denitrificans, Vibrio alginolyticus, Yersinia enterocolitica*
放線菌	*Actinoplanes* sp., *Faenia rectivirgula, Micromonospora parva, M. vulgaris, Micropolyspora faeni, Nocardia brasiliensis, Saccharomonospora* sp., *Streptomyces* sp., *Thermoactinomyces* sp., *T. vulgaris, Thermomonospora* sp., *T. curvata, T. glaucus, T. viridis*
真菌	*Absidia* sp., *Acremonium* sp., *Acrophialophora* sp., *Alternaria* sp., *Aphanocladium* sp., *Arthrinium* sp., *Arthrobotrys* sp., *Aspergillus* sp., *Botrytis* sp., *Cephalosporium* sp., *Ceratocystis* sp., *Chaetomium* sp., *Cladosporium* sp., *Clitopilus* sp., *Coprinus* sp., *Doratomyces purpureus, Epicoccum* sp., *Eurotium* sp., *Fusarium* sp., *Geotrichum candidum, Humicola* sp., *Malbranchea* sp., *Monilia sitophila,Mucor* sp., *Paecilomyces* sp., *Papulaspora* sp., *Penicillium* sp., *Phanerochaete chrysosporium, Plectosphaerella* sp., *Rhizoctonia* sp., *Rhizomucor* sp., *Rhizopus* sp., *R. nigricans, Scopulariopsis* sp., *Scytalidium* sp., *Sporotrichum thermophile, Stysanus stemonitis, Talaromyces* sp., *Thermoascus aurantiacus, Thermomyces* sp., *Torula thermophila, Trichoderma* sp., *Tricothecium* sp., *Yeast, Zygorhynchus* sp.

在植物殘渣、動物遺體、動物排泄物等有機物堆積時，於 EM 存在下，可以將有機物分解轉化生成生理活性物質、溶解性有機物，並可殺死病原

菌、強化植物之耐蟲性和耐病性 (比嘉照夫，1994) 。 EM 經木村友昭等 (1995) 分析結果，其 pH 3.3，EC 4.9 ms，每克乾重含細菌 1.9×10^7 個菌落、耐熱性細菌 1.9×10^4 個菌落、酵母菌 3.9×10^5 個菌落、嫌氣菌 4.9×10^7 個菌落、色素耐性菌 9.0×10^4 個菌落和乳酸菌 1.5×10^7 個菌落。至於放線菌、絲狀菌、大腸菌群和光合成細菌則未測出。EM 原液完全抑制青江白菜種子發芽，100 倍稀釋液，種子可以發芽，但根及莖之生長受阻。EM 濾液中含乳酸 0.48% 、乙醇 0.33% 、丙醇 0.13% 、醋酸 0.29% 和酪酸 0.02% 。當 EM 菌接入農業資材中，所得之微生物資材每克含有細菌 2.5×10^4-2.4×10^{10} 個菌落、放線菌 ND-7.9×10^4 個菌落、絲狀菌 ND-5.3×10^7 個菌落、耐熱性細菌 ND-2.0×10^8 個菌落和耐熱性放線菌 ND-7.1×10^1 個菌落。細菌/真菌比介於 1.9-6.3×10^3，而放線菌/真菌比則介於 7.7×10^{-7}-6.4×10^3。可見由 EM 所製作之資材，由於基質不同，菌數不安定，變異性甚大 (木村友昭等，1995) 。

國內在微生物接種研究上，生物固氮方面接種 *Rhizobium* 已有顯著成效 (Young 和 Chao，1984；楊，1995) ，在豆科作物與根瘤菌共生固氮研究已有相當基礎，在牧草方面只有埃及三葉草使用接種劑，在林木豆科樹種之銀合歡和相思樹的固氮菌有研究。另在水田滿江紅與藍綠藻共生之固氮作用因受使用殺草劑而未被推廣。在田間接種 38 株根瘤菌，可以促進苜蓿、三葉草、花生和大豆產量 210% ， 50% ， 21% 和 98% 。在銀合歡林地中，接種根瘤菌在生長初期可以提高根部有效根瘤數和植體乾物種 (楊，1994) 。

溶磷菌在國內分出 G(+)桿菌 *Bacillus* sp.、溶磷細菌 TAR1-338、溶磷真菌 TAR1-318。溶磷真菌 TAR1-318 溶磷活性大於溶磷細菌 TARI-338，在含米糠之培養基中其活性較強 (簡和吳，1994) 。在茶園土壤中也分出溶磷菌 *Pseudomonuas* sp.及 *Bacillus* sp.，每克根圈乾種土壤含溶磷菌 7.3×10^5 個菌落，而非根圈土壤溶磷菌只有 1.0×10^4 個菌落 (張和楊，1994) 。在第二核能發電廠及其周圍，其固氮菌每克乾種土壤含量介於 1.63-3.65×10^5 個菌落 (楊等，1998) 。

由堆肥、市售生物肥料和土壤中分離之高溫溶磷菌，挑選出在 50^oC 和 25^oC 培養五天後所的之菌落大小、溶磷圈大小以及 halo size 前 25 名菌株。其中耐高溫溶磷細菌分離株 C45 (從生物肥料分離出) 和 V1 (從禽畜糞堆肥場分離出) ，不但可以溶解鈣磷，且可以溶解鐵磷和鋁磷。分離株 C45 在 50^oC、 PVK 平板檢測法上具有最大 halo size (2.45±0.25)，且在 $FePO_4$ 和 $AlPO_4$ 培養基上均能生長和產生 halo size，分別為 1.55±0.35 和

1.83±0.18。在 50^{o}C、PVK、$FePO_4$ 和 $AlPO_4$ 液態檢測法分別能溶解出 10235.29±1456.01、790.88±95.99 以及 969.68±55.75 µM 的游離無機態磷，以及 pH 分別降至 3.96±0.10 、 5.99±0.15 以及 5.67±0.15 。分離株 V1 在 50^{o}C 、NBRIP 平板檢測法上具有較大溶磷圈 (11.10±1.48 mm) 和 halo size (2.79±0.17)，且在 $FePO_4$ 和 $AlPO_4$ 培養基上均能生長和產生 halo size，分別為 1.06±0.08 和 1.27±0.06。在 50^{o}C 、PVK 、 $FePO_4$ 和 $AlPO_4$ 液態檢測法分別能溶解出 15632.35±1248.18、1001.18±79.60 以及 3116.18±710.05 µM 的游離無機態磷，而且 pH 分別降至 4.06±0.02、5.78±0.05 以及 5.44±0.05 (張和楊，2005) 。

接種高溫放線菌對生物肥料品質之影響

將供試高溫放線菌孢子懸浮液接種至生物肥料基質 (稻草：豬糞= 4：1) ，混合均勻後 (每克乾重基質約含 6.0-7.0×10^{5} 個孢子)，以蒸餾水調整水分含量至 60- 63 %。共分 4 組：一、接種高溫放線菌分離株 No. 56，二、接種高溫放線菌分離株 No. 40，三、接種高溫放線菌分離株 No.40 和 No. 56 和四、未接種對照組。四種處理堆肥分別置於高 27cm，上部直徑 24cm，下部直徑 20cm 的圓形塑膠容器中，桶上加蓋，於 45^{o}C 下培養。

一、水分含量：

接種組中 (無論是單獨接種或混合接種) 其水份含量皆隨著培養之過程略為上升。培養 31 天後，接種分離株 56 號其水分含量最高為 70.21±0.49%，其次為混合菌株 69.18±1.06%，分離株 40 號 66.03±1.33% 。未接種之對照組培養前 21 天，基質水分含量最高為 63.51±0.82%，其後水份含量下降，培養 31 天降為 46.61±0.57%。可見生物肥料製作過程中，接種會促進代謝水生成，提高基質水份含量，此種現象在堆肥及生物肥料製作 (陳等，1998；詹等，1999；蔡和楊，2004) 、蛋白質強化 (Yang 和 Cheng，1992；Yang，1993) 、酵素生產 (Yang 和 Chiu，1986；Yang 和 Huang，1994) 、抗生素生產 (Yang 和 Ling，1989；Yang，1996；Yang 和 Swei，1996) 和多元不飽和脂肪酸生產 (Jang 等，2000、2005) 相似。

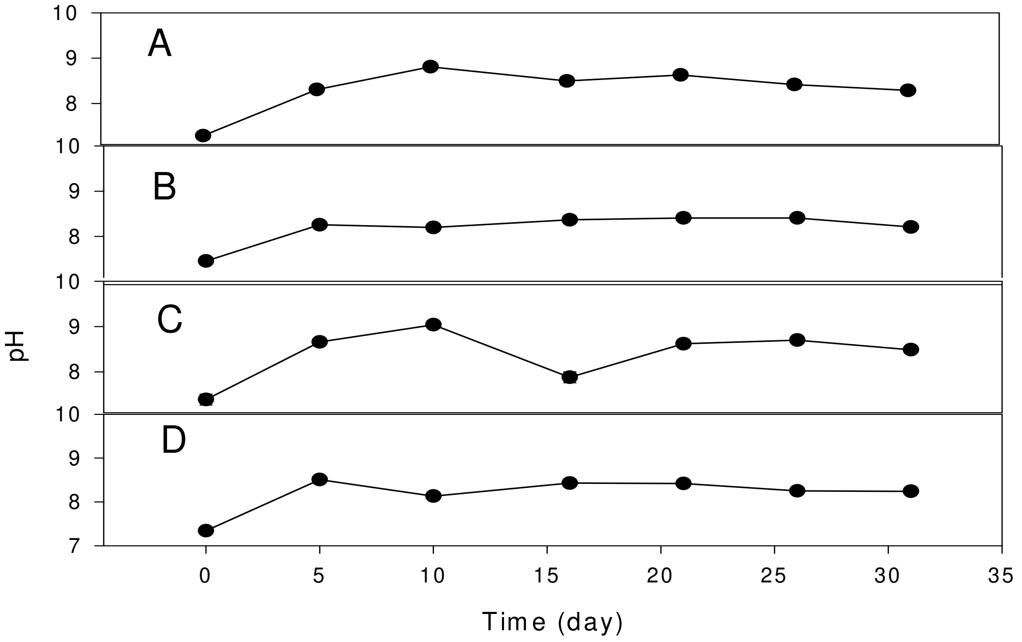
二、 pH 值：

在 31 天的堆積過程中，四組基質 pH 值皆上升 (圖一) 。第十天左右最高，pH 8.5-9.0 之間，其後因微生物快速生長生成有機酸，致使 pH 值略降但仍高於 8.0 。在北部禽畜廢棄物堆肥研究，腐熟堆肥其 pH 值皆呈鹼性 (楊等，1999、2000) 。接種高溫放線菌分離株 56 號在 31 天培養過程中，基質 pH 皆略高於放線菌分離株 40 號，而混合菌株其 pH 值則介於兩

者之間。控制組因未接菌，基質 pH 變化最小。在稻草堆肥中接種高溫放線菌分離株 1 號和 71-1 號亦發現其基質 pH 值比未接種者高(詹等，1999)。

三、灰份含量：

堆肥化過程中，四組灰份含量如圖二所示。灰份含量由最初 12-13% 增加至堆積 31 天後 19-20%。接種分離株 56 號其灰份含量最高 20.43±0.14%，接種分離株 40 號及未接菌者，灰份含量較低只有 19.80-9.84%。由於堆肥化過程中，基質中易分解之有機物被分解產生二氧化碳逸去，因而基質灰份含量會隨著堆積過程而上升 (Yang，2001) 。至於生物肥料灰份含量之高低則視基質種類而異，豬糞生物肥料其灰份含量在 20%左右，但雞糞生物肥料因基質中含 CaO，有時可以高達 40% (楊等，1999、2000) 。在固態發酵生產蛋白質、酵素、抗生素和多元不飽和脂肪酸也有類似之現象 (Yang 和 Chiu，1986；Yang 和 Ling，1989；Yang 和 Cheng，1992；Yang，1993、1996；Yang 和 Huang，1994；Yang 和 Swei，1996；Chen 等，1998；詹等，1999；Jang 等，2000、2005；蔡和楊，2004) 相似。



圖一、接種耐高溫放線菌株對生物肥料 pH 值之影響。

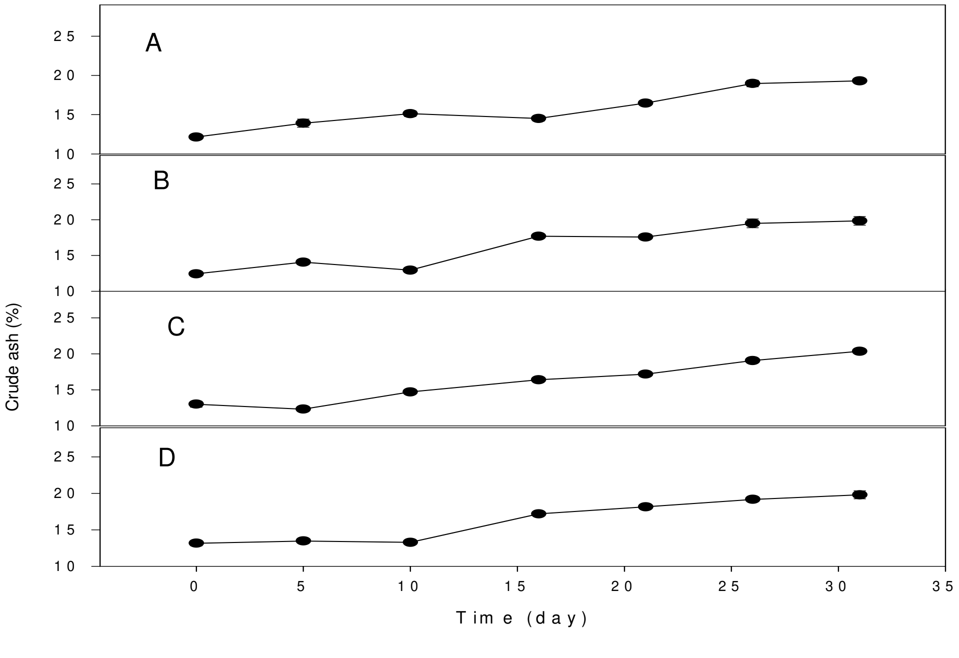
Fig. 1. Effect of thermophilic actinomycete inoculants on the pH of biofertilizer. (A). Mixed cultures of two isolates, (B). Isolate No.40, (C). Isolate No.56, (D). Control (without inoculation).

四、發芽率：

生物肥料在製作初期，因不完全氧化產生有機酸影響種子發芽，對作物根之生長不佳 (Yang，1994、1997) 。在稻草及豬糞生物肥料中接種耐高溫放線菌，在堆積過程中苜蓿種子發芽率上升 (圖三) 。生物肥料原料其苜蓿種子發芽率只有 75%，接種分離株 56 號 16 天後其發芽率上升至 83%，混合菌株為 87% ，而未接種者其值略低。可見接種耐高溫放線菌可以縮短生物肥料製作時間，有利於生物肥料腐熟和提高種子發芽率。

五、總有機碳含量：

在堆積過程中基質總有機碳被微生物分解產生二氧化碳而下降，接種耐高溫放線菌分離株 56 號其總有機碳含量由最初 41%，降低至堆積 31 天 37%，接種混和菌株其總有機碳含量下降次之。在北部禽畜廢棄物生物肥料製作時，無論是豬糞、雞糞和牛糞所製作之生物肥料，總有機碳含量皆比原料基質低，如翻堆處理其下降更為明顯(楊等，1999、2000)，在稻草生物肥料中接種高溫放線菌分離株其總有機碳含量亦由最初之 45% 下降至 35-40%之間(詹等，1999)。



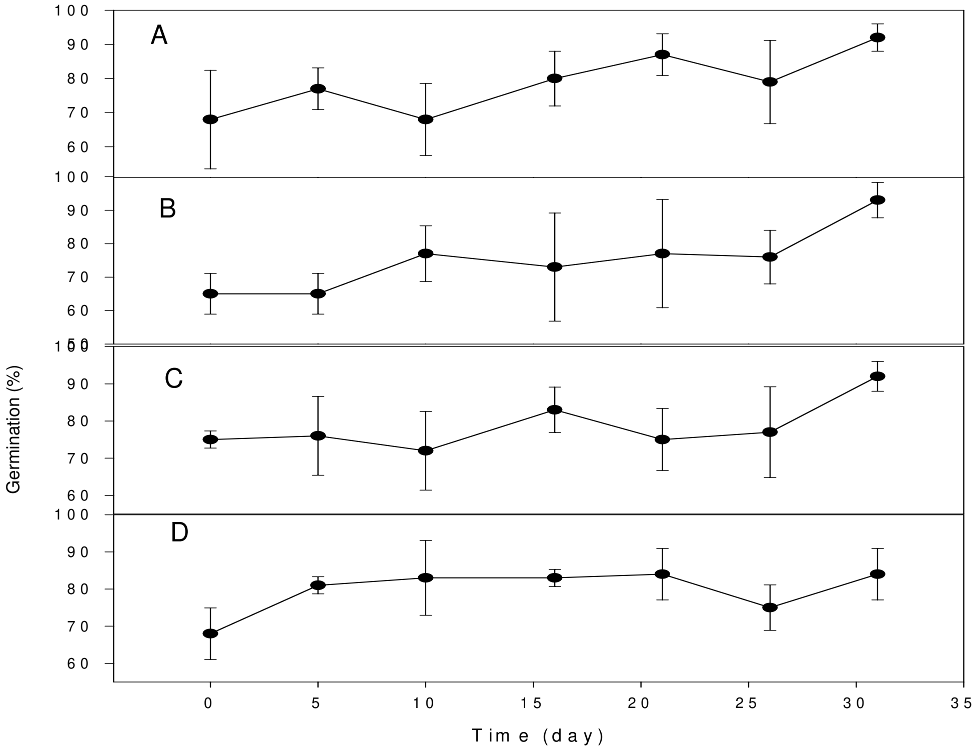
圖二、接種耐高溫放線菌株對生物肥料灰份之影響。

Fig. 2. Effect of thermophilic actinomycete inoculants on ash content of biofertilizer. (A). Mixed cultures of two isolates, (B). Isolate No.40, (C). Isolate No.56, (D). Control (without inoculation).

六、總氮與固定態氮含量：

由於基質中有機物經微生物分解釋出二氧化碳，因而基質總氮含量會隨著堆積過程而上升。由圖四知, 接種分離株 56 號其基質總氮含量由最初 1.0% 增加至堆積 31 天 1.6% ，接種混合菌株其總氮含量則由 0.8% 增加至 1.8% ，不接菌者其增加量較低。可見在稻草及豬糞為原料製作生物肥料時，接種耐高溫放線菌可以提高基質之總氮含量。無論在室內接種試驗及室外堆積研究，堆肥和生物肥料在製作過程中，總有機氮含量皆會隨著堆積過程而上升 (Harada，1990；Yang，1994、2001)。

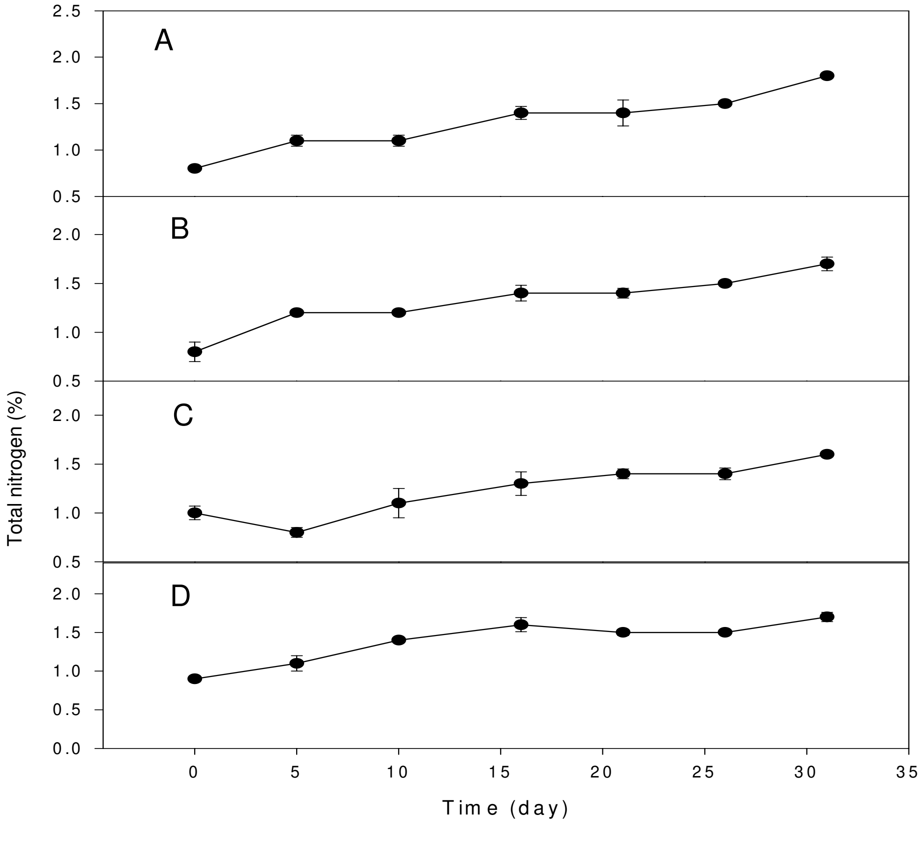
堆肥和生物肥料製作時微生物會利用基質中之碳、氮等合成其體質而將氮固定。稻草和豬糞基質其最初之固定態氮含量介於 0.7-0.8% 之間，而堆積 31 天其固定態氮增加至 1.6-1.7% 之間。接種分離株 56 號及混合菌株，其增加率較高，而未接種者略低。稻草堆肥以及北部禽畜廢棄物堆肥場，其生物肥料之固定態氮含量亦隨著堆積過程而增加，接種或翻堆皆有助於固定態含量之上升 (楊等，1999、2000) 。



圖三、接種高溫放線菌株對生物肥料萃取液之苜蓿種子發芽率之影響。
Fig. 3. Effect of thermophilic actinomycete inoculants on germination of alfalfa of the biofertilizer extract. (A). Mixed cultures of two isolates, (B). Isolate No.40, (C). Isolate No.56, (D). Control (without inoculation).

七、碳氮比：

由於微生物分解基質之有機物而釋放出二氧化碳以及利用其中之氮形成菌體，增加固定態氮含量，因而生物肥料在堆積過程中 C/N 比下降。接種高溫放線菌分離株 40 號及 56 號，其 C/N 比由最初之 45-51 下降至 22-24，接種混合菌株則由 49 降到 21，未接種者下降較少 (圖五) 。生物肥料基質 C/N 比視原料種類而異，作物殘體 C/N 比較高，牛糞原料 C/N 比亦高達 30 以上，但雞糞較低只有 10 左右。一般生物肥料原料其 C/N 比以 35 左右為宜，而產品 C/N 比則以 20 左右較佳 (Yang，1997、2001) 。北部禽畜堆肥場管理較佳者其所生產之堆肥 C/N 比介於 15~25 (楊等，1999、2000) 。接種高溫菌分離株可以降低其 C/N 比，加速生物肥料穩定化和提高生物肥料品質。

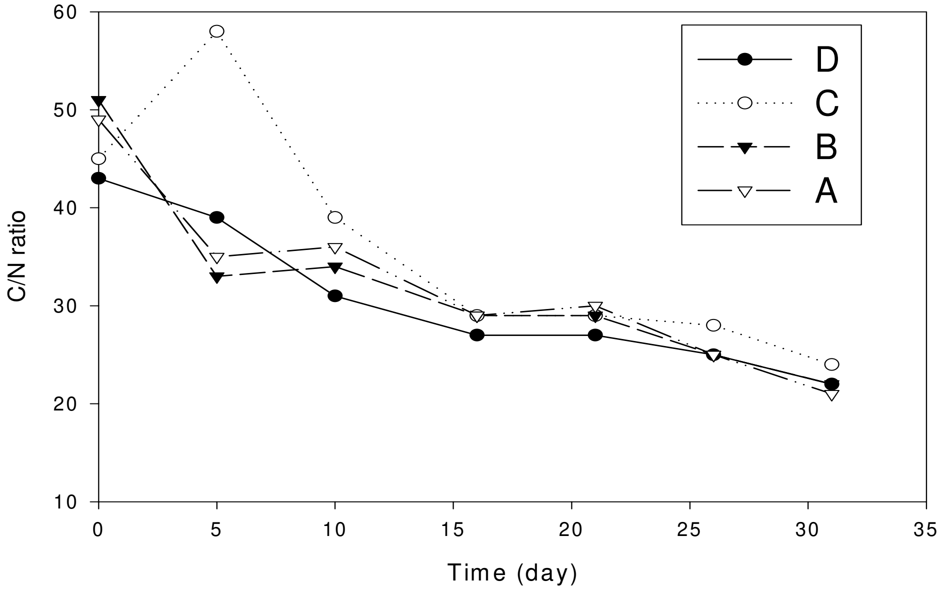


圖四、接種高溫放線菌株對生物肥料總氮含量之影響。

Fig. 4. Effect of thermophilic actinomycete inoculants on the total nitrogen content of biofertilizer. (A). Mixed cultures of two isolates, (B). Isolate No.40, (C). Isolate No.56, (D) Control (without inoculation).

八、高溫放線菌族群：

生物肥料在製作過程中，由於有機物分解使得基質溫度上升，良好生物肥料其堆積過程中溫度在 50°C 以上至少維持 7-10 天，如此可以將病原菌、蟲卵和雜草種子殺死 (Parr 等，1994) 。為提高生物肥料中微生物族群，加速堆肥穩定化，生物肥料中微生物含量為其關鍵。在稻草豬糞生物肥料中，如未接種則生物肥料中所含之高溫放線菌族群甚低，每克基質只含 10^3 個菌落以下，大部分為黴菌 (圖六) 。而接種放線菌分離株 56 號時，培養至 16 天每克基質含 $10^{7.8}$ 個菌落，接種分離株 40 號在第 16 天可達 $10^{8.2}$ 個菌落。可見所接種之高溫放線菌可以在基質中建立族群，縮短生物肥料製作時間及提高堆肥品質。在稻草堆肥中接入高溫放線菌，亦發現可以建立其族群 (陳，1998) 。



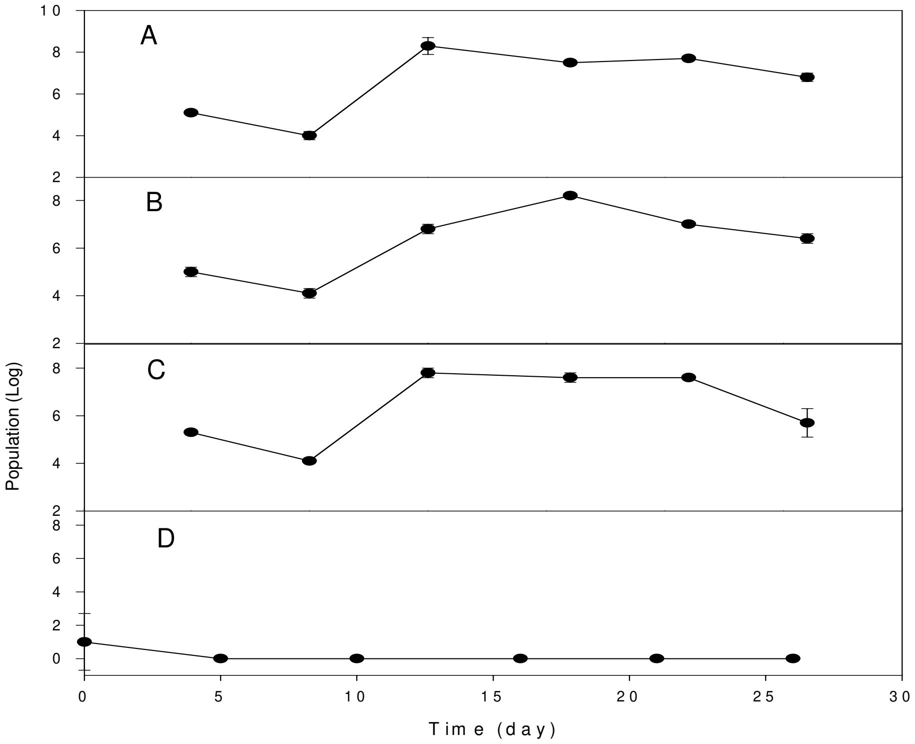
圖五、接種高溫放線菌株對生物肥料 C/N 比之影響。

Fig. 5. Effect of thermophilic actinomycete inoculants on C/N ratio of biofertilizer. (A). Mixed culture of two isolates, (B). Isolate No.40, (C). Isolate No.56, (D). Control (without inoculation).

九、臭味及顏色：

接種混合菌株在第 16 天即無生物肥料臭味，接種放線菌分離株號 56 號、 40 號及對照組皆在第 21 天無生物肥料臭味，可見接種混合菌株的除臭效果優於其它各組。接種放線菌分離株 56 號、 40 號、混合菌株之生物肥料，分別在 10、16 和 16 天轉變成黑褐色，而不接菌的控制組則至

第 31 天尚未變成黑褐色。由於生物肥料腐熟後，腐植質含量增加，其顏色呈現深褐色或黑褐色，所以生物肥料大都由基質原色轉變成深褐色，進而轉變成黑褐色 (Gray 等，1971) 。所以由顏色變化知接種放線菌分離株 56 號的堆肥較優，較早腐熟。可見生物肥料堆積過程中，接種高溫放線菌有利於生物肥料製作，縮短生物肥料製作時間，提高生物肥料品質。由於不同分離株，其生長速率和酵素種類及活性皆不同，因而在堆肥或生物肥料製作時，可依其目的使用不同的供試菌株。



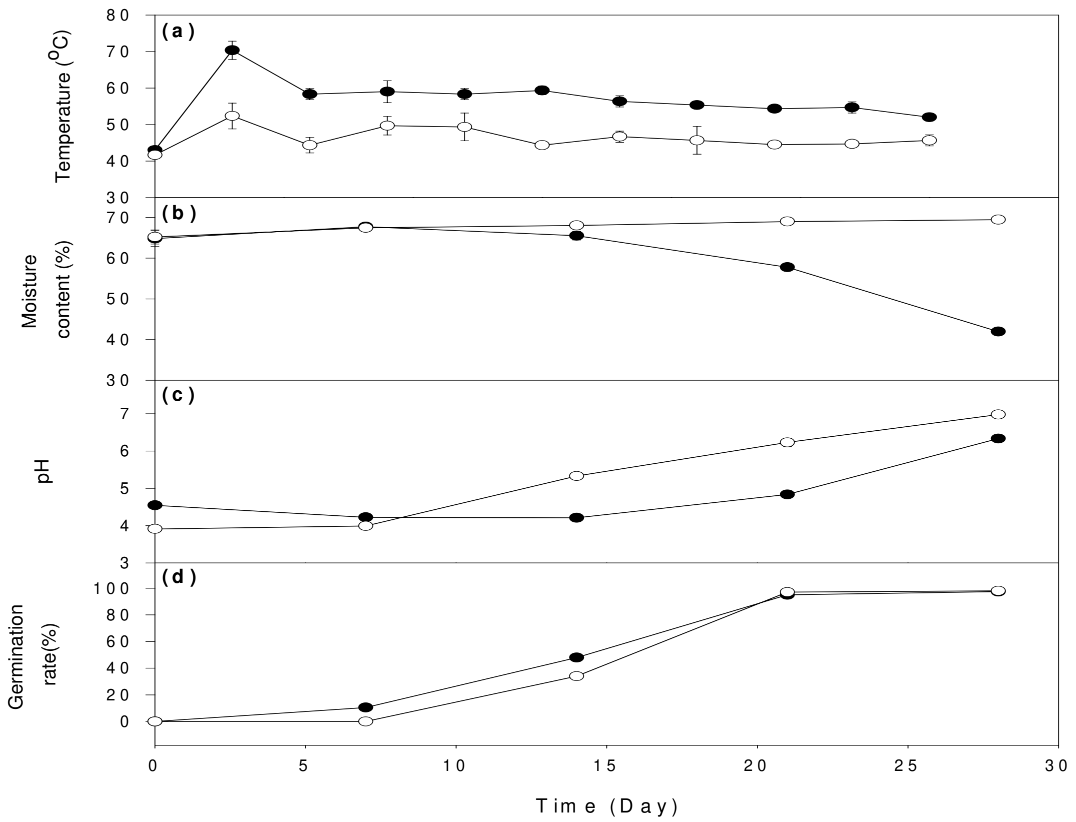
圖六、接種耐高溫放線菌株對生物肥料中耐高溫菌數之影響。
Fig. 6. Effect of thermo-tolerant microbe inoculation on the populations of thermo-tolerant microbes. (A). Mixed cultures of two isolates, (B). Isolate No.40, (C). Isolate No.56, (D). Control (without inoculation).

為加速有機廢棄物之分解速率和提高堆肥品質，而由堆肥中分離高溫放線菌分離株 No.55，No.62a 和 No.62b，當它們分別或混合接入稻草和豬糞堆肥時，在堆積 21 天時，基質 pH 先降後升，接種高溫放線菌時可以提高全有機碳減少速率，降低 C/N 比，提高青江菜種子之發芽率。尤其在堆積初期接種高溫放線菌對堆肥之穩定化有促進作用，而堆積後期則其效果較不明顯 (Chen 等，1998) 。

廚餘堆肥製作

一般小型處理設備中參與堆肥化過程的菌主要以中溫菌為主，而大型處理廚餘機及堆肥廠則以耐高溫菌及中溫菌為主。廚餘大都含有大量油份，過量的油份會對分解反應產生抑制，造成堆肥化過程時間遲緩，且過量的油脂會不斷累積，此和一般農業廢棄物堆肥最大不同，故欲快速製作品質良好的廚餘堆肥，其先決條件是須有專門針對廚餘垃圾分解力強的微生物，進而才可達到廚餘廢棄物資源再利用的目的。本實驗利用原本著重於減廢之消滅型廚餘處理機，製作出已腐熟且品質良好之廚餘堆肥，並運用自行篩選之高溫脂解菌種，進一步探討菌種對於堆肥品質的影響。

由圖七所示廚餘機 A (接種高溫脂解菌) 及 B (對照組) 在開始堆積時廚餘機中堆肥基質溫度分別為 42.00℃及 41.67℃，和廚餘機本身控溫裝置所設定的溫度 40℃差異不大，但經過 3 天廚餘機 A 及 B 之溫度皆因為微生物開始繁殖分解產生大量的熱而迅速升高，分別為 70.33℃ 及 56.67℃，廚餘機 A 較 B 高出 13.66℃，直到堆積 30 天後廚餘機 A 及 B 堆肥溫度分別為 52℃ 及 45.67℃，其溫度皆隨堆肥化過程而下降。水分含量變化方面廚餘機 A 及 B 初始水分含量分別為 64.81% 及 65.23% ，由於廚餘機為半密閉，僅有一水蒸氣出口，堆肥在廚餘機內堆積時僅表面水蒸氣因高溫而較易散失，而初期時廚餘機內部堆肥則因為外部堆肥水分含量高，造成孔隙度不佳故水分散失不易，可保持大量水分，且微生物發酵時產生代謝水，使廚餘機 A 及 B 水分含量在第 7 天皆呈現上升情形，堆積 21 天後廚餘機 A 水分含量明顯下降僅有 57.77%，而廚餘機則為 69.01% ，堆積 30 天後廚餘機 A 及 B 水分含量分別為 41.96% 及 69.47% ，廚餘機 A 從堆積初期至堆積 30 天後水分含量總計下降 22.85% ，而廚餘機 B 則反而增加 6.24% ，此和廚餘機 B 中發酵時溫度較低有關。廚餘機 A 及 B 之起始 pH 分別為 4.55 及 3.91，以廚餘機 A 為高，和接入之 SH168 菌液有關，之後廚餘機 A 之 pH 於堆積後 7 天下降至 4.22，堆積 14 天時 pH 僅 4.21，直到堆積 21 天時 pH 值才上升為 4.84，28 天時劇烈上升為 6.83，堆肥堆積過程 pH 先降後升趨勢為微生物代謝產生有機酸造成，此情形亦在許多堆肥堆積過程中可見 (陳，1998；楊等，2000) ，廚餘機 B 之 pH 則呈現逐漸上升趨勢， 28 天時 pH 達 6.98。



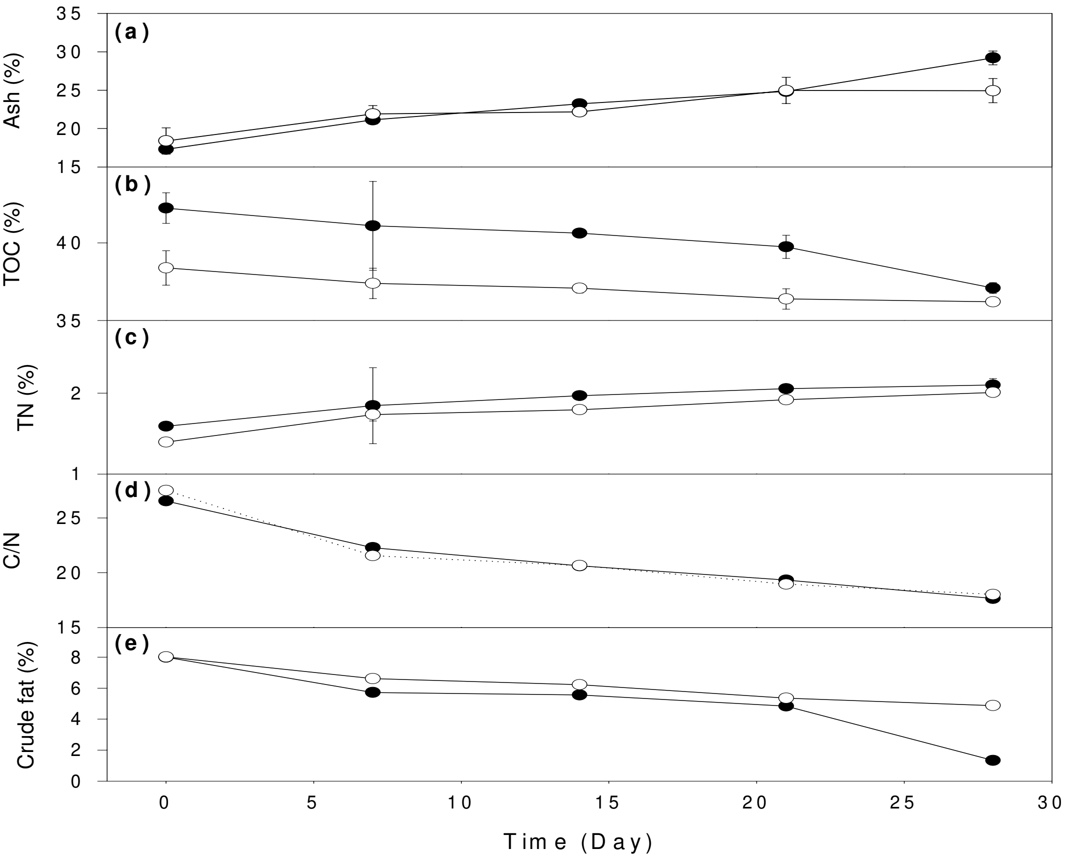
圖七、接種高溫脂解菌對廚餘堆肥化性質變化之影響。

Fig. 7. The properties of food waste compost during composting period (a) Temperature, (b) Moisture content, (c) pH and (d) Germination rate in the mechanical composter (●) A and (○) B. Values were the mean of triplicate experiments and error bars represented standard deviation.

堆肥製作時初期因微生物消耗有機碳時不完全產生有機酸，或是代謝氮產生過多氨，而影響種子發芽率，對作物根之生長有不良影響 (Yang，1997、2001) 。廚餘機 A 及 B 初始苜宿種子發芽率皆為 0% ，直至堆積達 21 天時廚餘機 A 及 B 苜宿種子發芽率分別為 95% 及 87% ，顯示堆肥中對於抑制種子發芽之物質已被微生物代謝成穩定無害狀態，堆肥逐漸進入腐熟狀態。廚餘機 A 其種子發芽率皆比同時期廚餘機 B 高，故廚餘機 A 較快進入堆肥腐熟階段，此時堆肥顏色也變深黑，無刺鼻臭味。由於微生物分解有機物，使有機物轉成二氧化碳而散逸，固體基質中有機物減少而使灰份含量相對增加，廚餘機 A 及 B 中堆肥灰份含量分別由初始 17.29% 及 19.28% ，隨堆積過程逐漸上升 (圖八) 。堆積 28 天，廚餘機 A 及 B 灰份含量分別為 29.21% 及 24.94%，廚餘機 A 灰份增加 11.29% 較高。廚餘機 A 及 B 有機碳含量因受微生物分解產生二氧化碳而逐漸下降，由初始 42.25% 及 38.39%，堆積 28 天時則分別為 37.09% 及 36.21%，廚餘機 A

總有機碳含量減少 5.16%，分解率較高。廚餘機 A 及 B 總氮含量由初始 1.59% 及 1.40%，堆積 28 天時則分別為 2.10% 及 2.01%，微生物於基質中耗能分解含氮化合物製造菌體成分提供成長，在堆積過程中氮素雖然也會損失，但其損失百分率遠較有機質少，造成百分率反而增加。堆肥化過程中，有機物被微生物分解，全碳含量呈現下降趨勢，氮素濃度因濃縮效應而呈現增加，C/N 隨堆積過程呈現下降趨勢，廚餘機 A 及 B 堆肥 C/N 比由初始 26.55 及 27.51，堆積 28 天時則分別下降至 17.65 及 18.02。廚餘做為堆肥材料時，其中含有大量烹調過後殘存之食用油脂，此和一般禽畜糞及農業廢棄物堆肥原料最大不同，廚餘機 A 及 B 中堆肥粗脂肪由初始 7.99% 及 8.02%，堆積 28 天時則分別下降至 1.34% 及 4.88%，廚餘機 A 粗脂肪下降 6.65%較高，分解率達 83.23%，廚餘機 B 粗脂肪下降 3.14%，分解率為 39.15%。由於有機碳含量及粗脂肪含量變化皆以廚餘機 A 分解率較高，更可證明接種 *Bv. borstelensis* SH168 可縮短廚餘堆肥化腐熟所需時間。

廚餘機 A 每克乾重堆肥高溫與中溫菌總數初始分別為 1.36×10^{8} 及 1.40×10^{7}，廚餘機 B 分別為 8.18×10^{8} 及 7.05×10^{8}，廚餘機中菌相以高溫菌為多數，廚餘機 A 中總菌數變化不論高溫或中溫皆呈現先升後降，堆積 28 天時廚餘機 A 中每克乾重堆肥高溫與中溫總菌數分別為 1.50×10^{8} 及 1.9×10^{7}，廚餘機 B 堆積 14 天時每克乾重堆肥高溫與中溫總菌數分別為 7.4×10^{7} 及 1.02×10^{9}，以中溫菌菌數為主，此乃廚餘機 A 中接種 *Bv. borstelensis* SH168，在營養瓊脂培養基中所培養出菌落型態較為單純，可見 *Bv. borstelensis* SH168 菌落，顯示 *Bv. borstelensis* SH168 在此操作條件下能持續在廚餘機中進行分解有機物質。



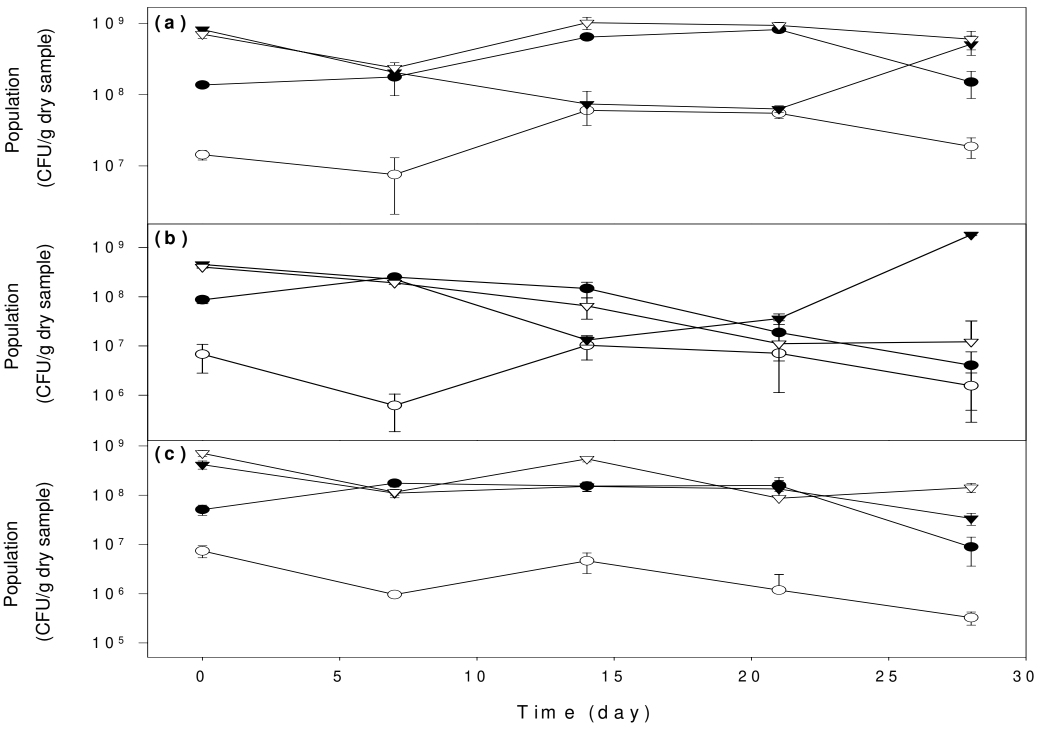
圖八、接種高溫脂解菌對廚餘堆肥化性質變化之影響。

Fig. 8. The properties of food waste compost during composting period (a) Ash, (b) Total organic carbon, (c) Total nitrogen, (d) C/N ratio, (e) Crude fat in the mechanical composter (●) A and (○) B. Values were the mean of triplicate experiments and error bars represented standard deviation.

纖維素分解菌方面，進料時期廚餘機 A 中每克乾重堆肥高溫與中溫纖維素分解菌分別為 8.70×10^7 及 7.00×10^6，廚餘機 B 則分別為 4.54×10^8 及 4.03×10^8，堆積 28 天時廚餘機 A 中每克乾重堆肥高溫與中溫纖維素分解菌分別為 4.00×10^6 及 2.00×10^6，廚餘機 B 則分別為 1.82×10^9 及 1.20×10^7，廚餘機 A 中之高溫纖維素分解菌呈現下降趨勢 (圖九)。

在脂解菌方面，初始廚餘機 A 中每克乾重堆肥高溫與中溫脂解菌分別為 0.51×10^8 及 0.07×10^8，廚餘機 B 則分別為 4.18×10^8 及 7.13×10^8，第 7 天廚餘機 A 中之菌數呈現上升，堆積 28 天時廚餘機 A 中每克乾重堆肥高溫與中溫脂解菌數分別為 0.04×10^8 及 0.02×10^8，廚餘機 B 則分別為 18.15×10^8 及 0.12×10^8，其中廚餘機 A 中脂解菌減少可能和粗脂肪含量下降有關。堆積 21 天時廚餘機 A 及 B 苜宿種子發芽率分別為 95% 及 87%，顯示堆肥中對於抑制種子發芽之物質已被微生物代謝成穩定無害狀態，堆肥逐漸進

入腐熟狀態。堆積 28 天時除水分含量外，廚餘機 A 及 B 之 pH、總有機碳、總氮、及 C/N 比等皆符合垃圾堆肥品質標準，其中接種高溫細菌分離株 *Bv. Borstelensis* SH168 之廚餘機 A，堆肥化過程溫度明顯較高且有機碳含量及粗脂肪含量分解率較未接菌廚餘機 B 高，顯示接種高溫細菌分離株於廚餘機可縮短堆肥腐熟時期及提高堆肥品質(表六)。



圖九、接種高溫脂解菌對微生物菌數變化。

Fig. 9. The population of (a) total count, (b) cellulolytic microbes and (c) lipolytic microbes in the food waste compost during composting in the mechanical composter. A (●) 50℃, (○) 30℃ and B (▼) 50℃, (▽) 30℃. Values were the mean of triplicate experiments and error bars represented standard deviation

表六、接種高溫酯解菌廚餘生物肥料製作過程性質分析

Table 6. Properties of food wast biofertilizer with the inoculation of thermophilic lipolytic microbes

Period (day)	Temp (°C)	pH	Moisture content (%)	Ash (%)	TOC (%)	TN (%)	Crude fat (%)	C/ N	Germination rate (%)
(A) Inoculation with *Brevibacillus borstelensis*									
0	43±3	4.55±0.01	64.81±1.96	17.29±0.29	42.25±0.99	1.59±0.03	7.99±0.07	26.55±0.77	0
7	70±5	4.22±0.01	67.72±0.23	21.14±0.56	41.10±2.86	1.84±0.47	5.72±0.17	22.28±1.25	10.50±1.41
14	61±4	4.21±0.06	65.53±1.06	23.22±0.16	40.63±0.25	1.97±0.02	5.56±0.10	20.63±0.29	48.00±2.83
21	55±3	4.84±0.02	57.77±0.86	24.84±0.23	39.75±0.75	2.06±0.06	4.84±0.21	19.33±0.83	95.00±1.41
28	52±3	6.83±0.06	41.96±0.64	29.21±0.89	37.09±0.35	2.10±0.08	1.34±0.09	17.65±0.61	97.50±0.71
(B) without inoculation									
0	41±3	3.91±0.04	65.23±1.74	18.39±1.71	38.39±1.11	1.40±0.01	8.02±0.13	27.51±1.02	0
7	56±3	3.99±0.01	67.49±1.00	21.90±1.09	37.39±0.98	1.74±0.08	6.61±0.10	21.55±0.97	0
14	50±3	5.33±0.02	68.03±0.86	22.17±0.45	37.08±0.31	1.80±0.02	6.22±0.09	20.65±0.53	34.00±2.83
21	47±2	6.23±0.11	69.01±0.81	24.96±1.71	36.39±0.66	1.92±0.03	5.35±0.10	18.95±0.37	87.00±1.41
28	45±2	6.98±0.01	69.47±0.35	24.94±1.56	36.21±0.22	2.01±0.04	4.88±0.06	18.02±0.21	98.00±2.83

Means±S.D. (n=3)

不同肥料處理對油菜生長之影響

針對台北市自主性廚餘堆肥和山豬窟廚餘堆肥場進行採樣，分析其組成分及重金屬含量。台北市市民農場之組裝式堆肥箱廚餘堆肥，其資材有果皮、樹葉、餿水及稻殼和某生技公司之廚餘機廚餘堆肥，其資材有樹葉及廚餘。堆肥基本性質如表七所示。

表七、供試堆肥之化學性質

Table 7. Some selected chemical properties of tested composts

Item	Detachable composter	Mechanical composter
Moisture content (%)	29.83 ± 0.92	15.23 ± 0.53
pH	8.26 ± 0.04	4.06 ± 0.01
EC (mS/cm)	6.46 ± 0.01	9.37 ± 0.04
Organic matter (g/kg)	698.54 ± 6.21	769.43 ± 1.16
Total N (g/kg)	18.91 ± 0.11	39.06 ± 0.12
NO_3^--N (mg/kg)	572.92 ± 73.66	350.37 ± 34.84
NH_4^+-N (mg/kg)	2114.27 ± 20.54	3441.53 ± 8.13
Total P (g/kg)	6.35 ± 0.05	3.16 ± 0.40
Total Al (g/kg)	0.74 ± 0.00	0.32 ± 0.02
Total Ca (g/kg)	52.91 ± 0.42	13.41 ± 0.10
Total Fe (g/kg)	0.49 ± 0.05	0.24 ± 0.03
Total K (g/kg)	26.92 ± 0.23	15.01 ± 0.33
Total Mg (g/kg)	1.47 ± 0.02	1.02 ± 0.01
Total Cu (mg/kg)	13.73 ± 0.42	5.13 ± 0.23
Total Mn (mg/kg)	106.00 ± 0.72	46.07 ± 0.42
Total Zn (mg/kg)	41.53 ± 5.67	5.07 ± 3.12

Mean ± S.D. (n=3).

以廚餘處理機及組裝式堆肥箱所製作廚餘堆肥進行油菜盆栽試驗，探討其對於油菜生育及產量之影響，並以施尿素、過磷酸鈣及氯化鉀混合肥料，其氮-磷酐-氧化鉀含量為 16：8：12 為對照組。由盆栽試驗結果，利用組裝式堆肥箱所製作之廚餘堆肥對油菜生育及產量之效果頗為一致，隨著廚餘堆肥之增施而有增產效果。油菜株高、葉數、鮮重、產量均以 FWC-4R 施用 100 g/pot 最佳，株高較對照區增高 10.1cm 、葉數增加 2.1 葉、鮮重增加 50.3 g/pot、產量較對照組增產 248.3%。利用消滅型廚餘堆肥機所製作之廚餘堆肥對油菜生育及產量則有減產效果。油菜株高、葉數、地上部乾重、產量均以 FWMC-4R 施用 40 g/pot 最差，株高較對照組減少 10.3 cm、葉數減少 3.8 葉、鮮重減少 14.3 g/pot、而產量較對照組減產 68.7% (表八和圖十) 。

由廚餘成分分析發現，素類廚餘其水分含量較高，總氮含量較低，因而 C/N 較高。廚餘回收處理作成堆肥，其目的如在製作性狀良好之堆肥，

則其原料之調配需加以考量，以滿足堆肥品質需求。台北市自主性廚餘堆肥，營養源方面有機物含量和總氮含量，大致上可符合雜項堆肥或垃圾堆肥品質標準，但部分自主性廚餘堆肥其水分含量太高，pH 太低，必須配合調整副資材和改善其設備，降低原料水分含量至 65%左右，添加調整材提高其通氣性，可以降低厭氣發酵減少產生有機酸，提高產品 pH 值，降低施用後對作物生長之負面影響。部分自主性廚餘堆肥，可能因添加資材，至使部分產品其重金屬含量偏高。如樣品 F6 其鉻、銅、鎳和鋅含量皆超過垃圾堆肥之標準。另外樣品 A3、D5、D6、F5、F6、F7、H2 和 J7 其銅含量也超過 100 mg/kg 之標準。而 J 處可能只有廚餘原料，添加木屑或樹葉等調整材，因而其所得堆肥之重金屬含量幾乎皆未超過農業委員會所公佈之垃圾堆肥之重金屬含量，但水分含量太高則有待改善。

表八、不同處理對油菜株高、葉片數、鮮重及乾重之影響
Table 8. Effect of treatment on the plant height, number of leaf, fresh weight and dry weight of rape

Treatment	Plant height (cm)	No. of leaf	Yield	
			(g/pot)	Index (%)
CK	16.4 ± 0.7*[e]	7.2 ± 0.7[c]	20.25 ± 0.33[e]	100.0
CH-R	23.7 ± 0.9[b]	8.9 ± 0.3[ab]	63.91 ± 0.97[b]	315.6
FWC-R	17.9 ± 0.4[d]	6.5 ± 0.2[d]	33.32 ± 0.51[d]	164.5
FWC-2R	20.8 ± 0.4[c]	8.6 ± 0.2[b]	63.36 ± 0.34[c]	312.9
FWC-4R	26.5 ± 1.0[a]	9.3 ± 0.2[a]	70.54 ± 0.67[a]	348.3
FWMC-R	13.4 ± 0.3[f]	4.2 ± 0.6[e]	12.34 ± 0.49[f]	60.9
FWMC-2R	12.1 ± 0.3[g]	4.5 ± 0.2[e]	6.34 ± 0.20[g]	31.3
FWMC-4R	6.1 ± 0.3[h]	3.4 ± 0.2[f]	5.96± 0.06[g]	29.4

Mean ± S.D. (n=3). * :Averages followed by the same smaller letter in the same column, are not significantly different ($p<0.05$) as determined by Duncan's multiple range test.

盆栽試驗結果顯示，廚餘堆肥品質對於作物生育及產量有顯著影響，組裝式廚餘堆肥隨其增施對於作物有增產效果，反之廚餘機廚餘堆肥則對作物造成危害，其造成危害之因素包括土壤之低 pH、酸性土壤造成營養元素磷、鉀、鈣及鎂等無法正常吸收和增加土壤中鋁、錳、銅、鐵、銅及鋅等溶解度影響作物生長及氨態氮中毒使植株之生長受到抑制。

由上述資料顯示，農業有機廢棄物或廚餘，在堆肥化過程中，接種適

當高溫纖維素分解菌或高溫酯解菌，可加速有機物質分解與提高生物肥料品質。高溫菌在環境保護和農業生產，具有應用上潛力。

(a)未施肥　(b)化肥　(c)廚餘堆肥 (d)2 倍廚餘堆肥(e)4 倍廚餘堆肥

圖十、不同施肥處理對油菜生長之影響。

參考文獻

洪明龍。2000。家庭廚餘與下水污泥共同堆肥之資源化研究。碩士論文。國立台灣大學環境工程研究所，台北，台灣。

陳國樹。1998。高溫菌在生物肥料製作上應用與其抗菌活性之探討。博士論文。國立台灣大學農業化學系，台北，台灣。pp. 298。

張政雄、楊盛行。2005。高溫溶磷菌生物肥料之開發利用研究。93 年度農業委員會期末報告，國立臺灣大學生化科技學系，台北，台灣。

張鳳屏、楊秋忠。1994。茶園土壤中溶磷細菌生態調查及其應用。微生物肥料之開發與利用研討會專刊，台灣省農業試驗所，台中，台灣。p. 115-129。

楊秋忠。1994。固氮菌的應用及發展。微生物肥料之開發與利用研討會專刊，台灣省農業試驗所，台中，台灣。p. 5-14。

楊秋忠。1995。本土化生物肥料之開發及應用。永續農業研究及推廣研討會專輯，林俊義和洪梅珠主編，中華永續農業協會，台中，台灣。p. 37-46。

楊盛行、林正芳、王繼國。2003。廢棄物處理與再利用。國立空中大學，台北，台灣。p. 339-395。

楊盛行、孫瓏月、楊鈞凱、魏嘉碧、黃仁勇、許文富。1998。第二核能發電廠及其周圍微生物族群探討。環境保護，21: 144-158。

楊盛行、張淑貞、魏嘉碧。2000。農家禽畜廢棄物堆肥化之性質。中華生質能源學會會誌，19: 49-61。

楊盛行、鍾仁賜、魏嘉碧。1999。台灣北部禽畜養殖場廢棄物堆肥之性質。中華生質能源學會會誌，18: 52-65。

詹峰順、黃景軍、陳國樹、楊盛行。1999。高溫放線菌之纖維素酵素活性及對稻草品質之影響。中華農學會報，新 185: 58-71。

蔡書憲、楊盛行。2004。高溫有益微生物複合功能生物肥料之研究。93 年度國家科學委員會期末報告，國立臺灣大學生化科技學系，台北，台灣。

簡宣裕、吳繼光。1994。溶磷真菌的溶磷機制。微生物肥料之開發與利用研討會專刊，台灣省農業試驗所，台中，台灣。p. 99-113。

比嘉照夫。1994。人.くらし.生命が變ねゐ.EM 環境革命.綜合ユニユム印刷株式會社，東京，pp.510。

木村友昭、桑村友章、善本知孝。1995。微生物資材的使用方法。永續農業研究及推廣研討會專輯，林俊義和洪梅珠主編，中華永續農業協會，台中，台灣。p. 34-36。

Alexander, M. 1977. Introduction to Soil Microbiology. 2nd ed., John Wiley & Sons, New York.

Anas, I. 1994. Biofertilizers and their application in Indonesia. In: International Seminar on the Use of Microbio and Organic Fertilizers in Agricultural Production. Rural Development Administration of Korea and Food and Fertilizer Technology Center, Suwon, Korea. p. 85-104.

Atlas, R. M. and Bartha, R. 1998. Microbial Ecology: Fundamentals and Applications. 4th ed., Benjamin/Cummings Science Publishing, California.

Chen, K. S., Lin, Y. S. and Yang, S. S. 1998. Isolation and application of thermo-tolerant micrbes in composting. Journal of the Agricultural Association of China, New Series 183: 97-112.

Chen, K. S. and Yang, S. S. 2000. Cross streaking test of the microbial population development in composting. Taiwanese Journal of Agricultural Chemistry and Food Science 38: 321-331.

Gray, K. R., Sherman, K. and Biddlestone, A. J. 1971. A review of composting. Part 1. Process Biochemistry 6: 32-36.

Gunarto, L. 1991. Acidity tolerance of high exopolysaccharide producing mutant of *Bradyrhizobium japonicum*. Penelitian Pertanian, Ⅱ, 2: 72-76.

Harada, Y. 1990. Composting and application of animal wastes. ASPAC/FFTC

Extension Bulletin 311: 19-31.

Jang, H. D., Lin, Y. Y. and Yang, S. S. 2000. Polyunsaturated fatty acid production with *Mortierella alpina*. Botantical Bulletin of Academia Sinica 41: 33-40.

Jang, H. D., Lin, Y. Y. and Yang, S. S. 2005. Effect of culture media and conditions on polyunsaturated fatty acids production by *Mortierella alpine*. Bioresource Technology 96: 1633-1644.

Lim, S. J., Choi, D. W., Lee, W. G., Kwon, S. And Chang, H. N. 2000. Volatile fatty acids production from food wastes and its application to biological nutrient removal. Bioprocess Engineering 22: 543-545.

Parr, J. F., Hornick, S. B. and Kanfman, D. D. 1994. Use of microbial inoculants and organic fertilizers in agricultural production. In: International Seminar on the Use of Microbio and Organic Fertilizers in Agricultural Production. Rural Development Administration of Republic of Korea and Food and Fertilizer Techonology Center. Suwon, Korea. p. 1-40.

Tsai, H. H., Wei, C. B. and Yang, S. S. 2002. Quality of food waste compost produced by local autonomy group in Taipei City. Journal of the Biomass Energy Society of China 21: 103-117.

Tsai, S. H., Liu, C. P. and Yang, S. S. 2006. Microbial conversion of food wastes for biofertilizer production with thermophilic lipolytic microbes. Renewable Energy International Journal (in press).

Yang, S. S. 1993. Protein enrichment of sweet potato residue with co-culture of amylolytic fungi by solid state fermentation. Biotechnology Advances 11: 495-505.

Yang, S. S. 1994. Compost and agricultural production in Taiwan. Soil and Fertilizers in Taiwan, 1994: 29-62.

Yang, S. S. 1996. Antibiotics production of cellulosic waste with solid state fermentation by *Streptomyces*. World Renewable Energy Congress IV, Denver, Colorado, USA. p. 976-989.

Yang, S. S. 1997. Preparation of compost and evaluation its maturity. FFTC Extension Bulletin 445: 1-23.

Yang, S. S. 2001. Recent advances in composting. In: Issues in the Management of Agricultural Resources, FFTC Book 2001. Food and

Fertilizer Technology Center for the Asian and Pacific Region (FFTC). Taipei, Taiwan. pp. 195-216.

Yang, S. S., Chang, S. C. and Wei, C. B. 2000. Properties of livestock and poultry wastes during composting in farms. Journal of the Biomass Energy Society of China 19: 49-61.

Yang, S. S. and Chen, M. C. 2000. Effect of thermophilic actinomycetes on the maturity of compost. Journal of the Biomass Energy Society of China 19: 115-127.

Yang, S. S. and Cheng, Z. J. 1992. Protein enrichment of corncob with *Trichoderma* by solid state cultivation. Chinese Journal of Microbiology and Immunology 24: 177-195.

Yang, S. S. and Chiu, W. F. 1986. Protease production with sweet potato residue by solid state fermentation. Chinese Journal of Microbiology and Immunology 19: 276-288.

Yang, S. S. and Huang, C. I. 1994. Protease production by amylolytic fungi in solid state fermentation. Chinese Journal of Agricultural Chemical Society 32: 589-601.

Yang, S. S., Lai, C. M., Sun, L. Y., Luo, Y. C., Fan, H. Y., Yang, C. K. and Wei, C. B. 1998. Microbial ecology of Tatachia Monutain soil. Journal of the Chinese Agricultural Chemical Society 36: 229-238.

Yang, S. S. and Ling, M. Y. 1989. Tetracycline production with sweet potato residue by solid state fermentation. Biotechnology and Bioengineering 33: 1021-1028.

Yang, S. S. and Swei, W. J. 1996. Oxytetracycline production by *Streptomyces rimosus* in solid fermentation of corncob. World Journal of Microbiology and Biotechnology 12: 43-46.

Yang, S. S. and Tsai, H. H. 2002. Treatment and re-utilization of food wastes. Newsletter of Legislative Yuan 30(3): 38-53.

Young, C. C. and Chao, C. C. 1984. Presistence of leucaena *Rhizobium* Nif 94A in Taiwan liming soil. Leucaena Research Reports 5: 68-69.

Yun, Y. S., Park, J. I., Suk, M. S. and Park, J. M. 2000. Treatment of food wastes using slurry-phase decomposition. Bioresurces Technology 73: 21-27.